

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук
подпись
« _____ » _____ 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Использование ГИС-технологий для оценки лесистости и ландшафтных
характеристик речных бассейнов

09.03.02 - Информационные системы и технологии

| | | |
|----------------|-------------------------|---------------|
| Руководитель | _____ доцент каф. Б-ГИС | Е.В. Федотова |
| Выпускник | _____ подпись, дата | К.Ю. Зятков |
| Нормоконтролер | _____ подпись, дата | Е.В. Федотова |

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук
подпись

« _____ » _____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Зяткову К.Ю.

Группа: КИ13-21Б Направление (специальность): 09.03.02

Информационные системы и технологии

Тема выпускной квалификационной работы: «Использование ГИС-технологий для оценки лесистости и ландшафтных характеристик речных бассейнов»

Утверждена приказом по университету № 2929/с от 07.03.2017 г.

Руководитель ВКР: Федотова Е.В., доцент кафедры Б-ГИС, с.н.с. ИЛ СО РАН к.б.н.

Исходные данные для ВКР: Цифровые модели рельефа, список рек, Продукт MODIS MCD12Q1.

Перечень разделов ВКР: Обзор литературы, исходные данные и программное обеспечение, построение бассейнов и определение характеристик рельефа в них, определение характеристики рельефа и лесистости бассейнов рек, проект QGIS.

Перечень графического материала: слайды презентации.

Руководитель ВКР

подпись

Е.В. Федотова

Задание принял к исполнению

подпись

К.Ю. Зятков

« ____ » _____ 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Использование ГИС-технологий для оценки лесистости и ландшафтных характеристик речных бассейнов» содержит 40 страниц текстового документа, 13 использованных источников.

MODIS, MCD12Q1, ЦМР, РЕЛЬЕФ, ЛЕСНОЙ ПОКРОВ, ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК, КЛИМАТ, ГИС.

В формировании водных ресурсов и сохранении качества воды в бассейне Северного Ледовитого океана особая роль принадлежит бореальным лесам.

Актуальна задача исследований изменения стока рек в связи с изменением лесного покрова, климата, в различных по своим ландшафтным и зональным характеристикам.

Цель дипломной работы – создание ГИС-проекта для гидрологического моделирования и анализа зависимостей величины поверхностного стока рек в зависимости от антропогенных, климатических факторов, ландшафтных особенностей бассейна. Лесистость важна для оценки перехвата осадков и оценки величины испарения влаги растительностью.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: определить границы бассейна для каждой реки; построить синтетическую сеть водотоков в пределах бассейна; определить параметры рельефа; определить характеристику лесного покрова для трёх лет; создать проект QGIS, включающая в себя слой определенных бассейнов, а также все вычисленные параметры.

В результате бакалаврской работы достигнута цель работы, а также выполнены все задачи для достижения поставленной цели.

Построены синтетические сети водотоков в пределах бассейнов;

Определены характеристики лесного покрова для трёх различных карт. При вычислении характеристик обнаружена динамика изменения площади лесного покрова.

Создан проект QGIS, включающий в себя слой бассейнов, цифровую модель рельефа в пределах бассейнов, а также все вычисленные параметры.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| 1 Обзор литературы | 6 |
| 1.1 Задачи гидрологии и актуальность работы в области гидрологии..... | 6 |
| 1.2 Обзор баз данных..... | 8 |
| 2 Исходные данные и программное обеспечение..... | 11 |
| 2.1 Программное обеспечение ArcGIS | 11 |
| 2.2 Программное обеспечение Quantum GIS..... | 11 |
| 2.3 Цифровые модели рельефа | 12 |
| 2.4 Продукт MODIS MCD12Q1 | 15 |
| 3 Построение бассейнов и определение характеристик рельефа в них | 18 |
| 3.1 Определение бассейна реки с использованием средств ArcGIS Spatial Analyst..... | 18 |
| 3.2 Постройка первичных притоков реки..... | 23 |
| 3.3 Вычисление характеристик рельефа бассейнов..... | 24 |
| 4 Определение характеристики рельефа и лесистости бассейнов рек | 27 |
| 4.1 Определение характеристики рельефа бассейнов | 28 |
| 4.2 Характеристики растительного покрова | 31 |
| 5 Проект QGIS | 33 |
| 5.1 Создание проекта | 33 |
| 5.2 Руководство по использованию проекта | 35 |
| Заключение | 37 |
| Список использованных источников | 39 |

ВВЕДЕНИЕ

В формировании водных ресурсов и сохранении качества воды в бассейне Северного Ледовитого океана особая роль принадлежит бореальным лесам. Вопрос о гидрологической роли леса до настоящего времени остается дискуссионным. Неоднозначность результатов, полученных на объектах, находящихся в различных физико-географических условиях, послужили основой для создания различающихся между собой (и даже противоречивых) концепций гидрологической роли лесов в части их влияния на объем годового стока. В настоящее время эта научная проблема приобретает актуальность в связи с увеличением повреждений лесного покрова под воздействием природных и антропогенных факторов, что оказывает влияние на процессы формирования водных ресурсов и изменение установившихся гидрологических циклов в речных бассейнах.

Предполагается проведение исследований в диапазоне географических зон: лесостепь-южная тайга-северная тайга-лесотундра, исключая горную часть водосборного бассейна реки Енисей. Протяженность «Енисейского меридиана» с юга на север (от города Красноярска до города Дудинка) составляет более 2000 км.

Целью гидрологического моделирования является выявление широтно-зональных и региональных особенностей влияния бореальных лесов на гидрологический цикл речных водосборов Средней Сибири. В работе рассматриваются такие реки, как Аллей, Большая речка, Большой Кас, Гравийка, Ерачимо, Иня, Песчаная, Сым, Тембенчи, Тукуланда, Турухан, Чарыш, Кемь, Кан, Таймура, Кача.

Выбор рек обусловлен их географическим положением, а именно принадлежность к различным климатическим зонам.

Гидрологический цикл определяется климатическими и энергетическими переменными, такими как суточное количество осадков, минимальная и

максимальная температура воздуха, солнечная радиация, скорость ветра, относительная влажность воздуха [1].

Особенности рельефа, такие как высота над уровнем моря, крутизна склонов, их экспозиция и кривизна, расчлененность рельефа также определяют особенности гидрологического цикла, поскольку определяют условия солнечной освещённости, скорости и направления ветров, микроклимат отдельных частей бассейна.

Изучение стока рек является важной задачей изучения гидрологического цикла, важной как с точки зрения науки (прогнозы развития состояния водной среды), так и практики – для рационального ведения сельского, лесного хозяйства, развития рекреаций, охраны природной среды.

Цель дипломной работы – создание проекта в Quantum GIS для гидрологического моделирования и анализа зависимостей величины поверхностного стока рек в зависимости от

- антропогенных факторов (изменение лесистости в процентах от площади бассейна из-за вырубок, пожаров и других причин),
- климатических факторов (среднемесячные температуры (градусы) и количество осадков (мм); среднегодовые температуры и сумма осадков),
- ландшафтных особенностей бассейна (высота над у.м. (м), крутизна склонов (градусы), экспозиция склонов (градусы), кривизна склонов (отн. ед.), расчлененность рельефа горизонтальная и вертикальная (m^{-1})).

Лесистость важна для оценки перехвата осадков (особенно твёрдых – снега) и оценки величины испарения влаги растительностью (влага испаряется ещё и с почвы).

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- по цифровой модели рельефа определить границы бассейна для каждой реки;
- построить синтетическую сеть водотоков в пределах бассейна;
- определить параметры рельефа с использованием пространственного анализа;

- определить характеристику лесного покрова для трёх лет;
 - создать проект QGIS, включающая в себя слой определенных бассейнов,
- а также все вычисленные параметры.

1 Обзор литературы

1.1 Задачи гидрологии и актуальность работы в области гидрологии

Способность леса накапливать твердые осадки и более продолжительное время задерживать их во время снеготаяния снижает поверхностный сток талых вод и способствует их переводу во внутрисочвенный сток, оказывая существенное влияние на водность постоянных водотоков.

Исследованиями многих лесоводов (Николаенко, 1970; Молчанов, 1973; Побединский, 1973 и др.) установлено, что от размещения лесов в бассейне во многом зависит водоносность реки. Успешность решения этих задач в значительной мере зависит от рационального размещения лесов в границах каждого водосборного бассейна рек, а в его пределах на отдельных мелких элементах водосбора, на которых формируются ключи, ручьи и временные водотоки.

Гидрология – наука, изучающая природные воды и происходящие в них явления и процессы. Начало формирования гидрологии относится к 17 в., однако, как наука она окончательно оформилась лишь в нач. 20 в. Первое научное определение гидрологии дал В. Г. Глушков (1915). Гидрология принадлежит к числу наук о Земле (часто рассматривается как часть физической географии). Предметом изучения гидрологии в широком её понимании являются все виды вод гидросферы: океаны, моря, реки, озёра, водохранилища, болота, почвенные и подземные воды, а также воды атмосферы, сосредоточенные в парах.

В связи со специфическими особенностями объектов и методов их изучения гидрология разделяется на три самостоятельные дисциплины: океанологию (гидрологию моря); гидрологию суши (изучает водные объекты суши); гидрогеологию (гидрологию подземных вод).

Гидрологию суши обычно разделяют на гидрологию рек, лимнологию (гидрологию озёр), гидрологию болот и гляциологию (гидрологию ледников).

В зависимости от направленности гидрологических исследований иногда выделяют более частные разделы, такие, как гидрология почв, гидрология леса, с.-х. гидрология и др. В результате тесного взаимодействия гидрологии с геофизикой и геохимией появились новые науки – гидрофизика и гидрохимия.

Основная область исследований гидрологии – водный режим и водный баланс (гидрологический цикл), изучение круговорота воды в природе, пространственно-временных колебаний и изменений его элементов под влиянием природных и антропогенных факторов. В практическом приложении гидрология тесно связана с водным хозяйством и проблемами рационального использования и охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения, с разработкой методов гидрологических расчётов и прогнозов. В последние годы всё большее развитие получает экологическое направление в гидрологии [2].

По данным стока, определенных на гидрологических постах, определена динамика изменения стока. На сток влияют множество характеристик, таких как температура, осадки, рельеф местности, лесистость. В данной работе рассматриваются в частности влияние леса на динамику изменения стока, а также высчитываются ряд географических характеристик рельефа. В статье [3] также приведен пример расчета таких гидрологических характеристик речных бассейнов, как площадь водосбора, длина реки, суммарная длина водотоков, число притоков, густота речной сети, средний уклон реки, средний уклон бассейна средняя высота водосбора, площадь лесов для каждого типа лесов, координаты пределов бассейна; представлены методы построения синтетической сети притоков реки (перечислить). Процент расхождения между определенными характеристиками с помощью ГИС технологий и реальными опубликованными не превышал 5,8% [3].

Данные характеристики принято считать основными, в данной работе будут использоваться часть характеристик.

1.2 Обзор баз данных

База данных - набор сведений, хранящихся некоторым упорядоченным способом. Система управления базами данных - это совокупность языковых и программных средств, которая осуществляет доступ к данным, позволяет их создавать, менять и удалять, обеспечивает безопасность данных и т.д. В общем СУБД - это система, позволяющая создавать базы данных и манипулировать сведениями из них. Доступ к данным СУБД осуществляется посредством специального языка – SQL (как расшифровывается?).

Термин база геоданных (БГД) - реляционная база данных, содержащая географическую информацию. БГД в общем случае является репозитарием пространственных данных внутри СУБД и содержит все векторные и растровые данные, таблицы и другие объекты ГИС.

БГД могут иметь самые разные размеры и любое число пользователей. Они могут изменяться от маленьких, однопользовательских баз данных до больших рабочих групп и производственных баз геоданных, используемых одновременно многими пользователями. ArcSDE позволяет реализовать многопользовательскую базу геоданных любого размера в СУБД: Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2 и Informix.

Модель БГД поддерживает объектно-реляционную модель векторных данных. В этой модели сущности представлены как объекты со свойствами, поведением и отношениями.

Пространственные объекты (ПО), в том виде как они представлены в базе геоданных, обладают многими качествами, такими как форма, атрибуты, отношения и поведение. Эти качества совместно выражают тот богатый контекст, в котором пребывают географические объекты.

Для многих приложений некоторые ПО являются самой удобной формой представления географических данных. Эта форма наиболее пригодна для географических объектов с четкими и устойчивыми границами. Другие географические объекты, которые можно отнести скорее к непрерывно

распределенным явлениям, лучше моделировать посредством растров или TIN [4].

SQLite — компактная встраиваемая реляционная база данных. Исходный код библиотеки передан в общественное достояние. В 2005 году проект получил награду Google-O'Reilly Open Source Awards.

Слово «встраиваемый» (embedded) означает, что SQLite не использует парадигму клиент-сервер, то есть движок SQLite не является отдельно работающим процессом, с которым взаимодействует программа, а предоставляет библиотеку, с которой программа компонуется, и движок становится составной частью программы. Таким образом, в качестве протокола обмена используются вызовы функций (API) библиотеки SQLite. Такой подход уменьшает накладные расходы, время отклика и упрощает программу. SQLite хранит всю базу данных (включая определения, таблицы, индексы и данные) в единственном стандартном файле на том компьютере, на котором выполняется программа. Простота реализации достигается за счёт того, что перед началом исполнения транзакции записи весь файл, хранящий базу данных, блокируется; ACID-функции достигаются в том числе за счёт создания файла журнала.

Несколько процессов или потоков могут одновременно без каких-либо проблем читать данные из одной базы. Запись в базу можно осуществить только в том случае, если никаких других запросов в данный момент не обслуживается; в противном случае попытка записи оканчивается неудачей, и в программу возвращается код ошибки. Другим вариантом развития событий является автоматическое повторение попыток записи в течение заданного интервала времени.

В комплекте поставки идёт также функциональная клиентская часть в виде исполняемого файла `sqlite3`, с помощью которого демонстрируется реализация функций основной библиотеки. Клиентская часть работает из командной строки, позволяет обращаться к файлу БД на основе типовых функций ОС.

Благодаря архитектуре ядра возможно использовать SQLite как на встраиваемых системах, так и на выделенных машинах с гигабайтными массивами данных [5].

Spatialite имеет свою собственную реализацию индексов (R-деревья) и геометрических типов, которые позволяют делать пространственные запросы.

Spatialite, доступен для Linux и Windows, в виде библиотеки. В комплекте идут важные утилиты, включая GUI для манипулирования Spatialite [5].

Spatialite — расширение SQLite для пространственных данных. Предоставляет функциональность для работы с геоданными, как PostGIS или Oracle Spatial. Но в отличие от последних не использует клиент-серверную архитектуру, то есть все операции выполняет само приложение. Придерживаясь архитектуры SQLite, база данных представляет собой один файл, в котором хранятся все данные (исключением является не монопольный режим, когда ещё создается файл журнала), который может быть свободно скопирован, или удален.

Исходя из задач работы и обзора литературы, в создаваемую базу данных гидрологического моделирования будут добавлены следующие таблицы и слои:

- цифровая модель рельефа, GeoTIFF, 3 arcsec, 1 arcsec;
- слой-маска границ водосборных бассейнов, shape-файл, определен инструментами ArcToolbox Spatial Analyst, содержит названия реки бассейна, площадь, а также идентификатор (ID);
- вырезанные по маске файлы ЦМР
- растровые слои уклона и экспозиции
- атрибутивные таблицы:
 - зональная статистика ЦМР;
 - зональная гистограмма уклона;
 - зональная гистограмма экспозиции;
 - зональная гистограмма лесного покрова, для трёх временных участков;
 - зональная статистика уклона и экспозиции.

2 Исходные данные и программное обеспечение

2.1 Программное обеспечение ArcGIS

Использовано программное обеспечение ArcGIS 10.0. ArcGIS является комплексом геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI. Применяются для земельных кадастров, в задачах землеустройства, учёта объектов недвижимости, систем инженерных коммуникаций, геодезии и недропользования и других областях. В данной работе использовался модуль ArcGIS Spatial Analyst, который имеет широкий выбор инструментов растрового моделирования и анализа объектов, позволяет создавать, строить запросы, картографировать и анализировать растровые данные. Дополнительный модуль ArcGIS Spatial Analyst также позволяет выполнять интегрированный векторно-растровый анализ, в котором используются инструменты «Гидрология» для анализа цифровой модели рельефа, а также «Зональная статистика» определения площадей, занимаемых разными видами растительности на территории [7].

2.2 Программное обеспечение Quantum GIS

Quantum GIS (QGIS) является комплексной геоинформационной системой с открытым исходным кодом для обработки пространственных данных.

Работа над QGIS была начата в мае 2002 года, а в июне того же года создан проект на площадке SourceForge. Целью создания QGIS было сделать использование геоинформационных систем легким и понятным для пользователя, чего создатели QGIS отчасти добились: интерфейс Quantum GIS намного понятнее для неискушенного пользователя, чем интерфейс той же GRASS (на котором QGIS во многом основана), а в некоторых аспектах даже превосходит широко распространённые ГИС.

Интерфейс Quantum GIS был создан с помощью инструментария Qt. Имеется возможность просматривать и накладывать друг на друга векторные и растровые данные в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат. Поддерживаются следующие основные форматы:

- пространственные таблицы PostgreSQL с использованием PostGIS, векторные форматы, поддерживаемые установленной библиотекой OGR, включая GeoJSON, shape-файлы ESRI, MapInfo, SDTS (Spatial Data Transfer Standard) и GML (Geography Markup Language) и др.;
- форматы растров и графики, поддерживаемые библиотекой GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), такие, как GeoTIFF, Erdas IMG, ArcInfo ASCII Grid, JPEG, PNG и др.
- форматы World-файла вместе с поддерживаемыми типами растровых изображений
- базы данных SpatiaLite (см. Раздел 3.3)
- растровый и векторный форматы (область/набор данных) [8].

2.3 Цифровые модели рельефа

Цифровые модели рельефа необходимы для выделения бассейнов рек.

Слой рельефа создаётся из файлов цифровой модели рельефа (ЦМР) формата SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 3 arcsec. С 11 по 22 февраля 2000 года на борту космического челнока «Endeavour» была передана миссия топографии ракетносителя шаттла (SRTM). Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) и Национальное агентство геопространственной разведки (NGA) приняли участие в международном проекте по приобретению радиолокационных данных, которые были использованы для создания первого почти глобального набора наземных высот.

Радары, используемые во время миссии SRTM, были фактически разработаны и выполнялись в двух миссиях Endeavour в 1994 году. В апреле на борту космического челнока использовались радары для космической съемки С-диапазона и рентгеновское радарное рентгеновское излучение X-диапазона (X-SAR) Октябре 1994 года для сбора данных о окружающей среде Земли. Технология была изменена для миссии SRTM для сбора интерферометрического радара (радар, основанный на явлении интерференции), который сравнивал два радиолокационных изображения или сигналы, принимаемые под разными углами. В этой миссии использовалась однопроходная интерферометрия, которая одновременно приобретала два сигнала, используя две разные радиолокационные антенны. Антенна, расположенная на борту космического челнока, собрала один набор данных, а другой набор данных был собран антенной, расположенной в конце 60-метровой мачты, которая простиралась от челнока. Различия между двумя сигналами позволили рассчитать высоту поверхности.

Во время миссии SRTM успешно собраны радиолокационные данные на 80% поверхности Земли между 60° северной широты и 56° южной широты с точками данных, размещаемыми каждые 1 арк-секунду (приблизительно 30 метров) [9]. Каждый файл имеет формат TIFF.

Цифровая модель рельефа скачивалась для территории Алтайского и Красноярского края. Данные скачиваются с сайта USGS [10]. Данные распространяются в географической системе координат WGS84 (Всемирная геодезическая система).

Изначально предполагалось использовать ЦМР SRTM 1 arcsec. Но с её применением не удавалось построить слой направления стока, в результате была использована более грубая модель данных SRTM 3 arcsec, обработку которой ArcGIS выполнял полностью.

Однако ЦМР SRTM отсутствует для северных регионов, для них использовалась модель ASTER Global Digital Elevation (GDEM), которая охватывает северные широты.

ASTER GDEM (ASTGTM) охватывает земную поверхность между 83° северной широты и 83° южной широты и состоит из 22,702 «плиток». ЦМР ASTER GDEM распространяется в формате GeoTIFF с географическими координатами: широта, долгота. Пространственное разрешение – 1 угловая секунда (приблизительно 30 м на экваторе) во Всемирной геодезической системе (WGS84) [11].

Министерство экономики, торговли и промышленности (METI) Японии и Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США (НАСА) совместно объявили о выпуске новой версии глобальной цифровой модели высотобезопасности и отражательного радиометра (ASTER) версии 2 (GDEM) V2) 17 октября 2011 года.

Первая версия ASTER GDEM, выпущенная в июне 2009 года, была сгенерирована с использованием изображений стереопары, собранных прибором ASTER на борту Terra. Покрытие ASTER GDEM охватывает от 83° северной широты до 83° южной широты, охватывая 99 процентов земной суши.

Улучшенный GDEM V2 добавляет 260 000 дополнительных стереопар, улучшая покрытие и уменьшая появление артефактов. Алгоритм усовершенствованного производства обеспечивает улучшенное пространственное разрешение, повышенную горизонтальную и вертикальную точность и превосходное покрытие, и обнаружение водяного тела. ASTER GDEM V2 поддерживает формат GeoTIFF и ту же структуру сетки и плитки, что и V1, с 30-метровыми проводками и $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ градусной плитки.

Версия 2 показывает значительные улучшения по сравнению с предыдущей версией. Тем не менее, пользователям сообщается, что данные содержат аномалии и артефакты, которые будут препятствовать эффективности для использования в определенных приложениях. Данные предоставляются «как есть», и ни НАСА, ни METI / Japan Space Systems (J-spacesystems) не будут нести ответственность за любые убытки, возникшие в результате использования данных.

В качестве вклада METI и NASA в Глобальную систему систем наблюдения Земли (GEOSS) данные ASTER GDEM V2 доступны бесплатно для пользователей по всему миру из Центра распределенных активных архивных центров (LP DAAC) и J-пространственных систем.

Если река находится в нескольких сценах ЦМР, предварительно необходимо собрать мозаику из набора данных растров:

- создать набор растровых данных, для чего на панели ArcToolbox выбираем: «Управление данными» / «Растр» / «Набор растровых данных» / «Создать набор растровых данных»;

- применить «Мозаику» для добавления данных в ранее созданный «набор растровых данных», для чего на панели ArcToolbox в разделе «Управление данными» / «Растр» / «Набор растровых данных» / «Мозаика».

Далее при работе использовать объединенная ЦМР.

2.4 Продукт MODIS MCD12Q1

Для определения лесистости бассейнов использовались несколько карт растительного покрова.

Продукт MODIS Land Cover Type (MCD12Q1) содержит несколько схем классификации, которые описывают типы подстилающей поверхности, полученные из годовых наблюдений приборов платформ Terra и Aqua MODIS. Схема классификации подстилающей поверхности, определенных Международной программой по геосфере и биосфере (МПГБ), определяет 17 классов земельного покрова, которая включает в себя 11 естественных классов растительности, 3 антропогенных и мозаичных земельных классов и три класса не относящихся к растительности. Кроме того, она показывает степень достоверности данного типа растительного покрова на данной территории, а также информацию контроля качества [12].

MODIS MCD12Q1 распространяется в синусоидальной картографической проекции с разрешением 500 м. Продукт включает в себя пять различных схем

классификации подстилающей поверхности, полученных с помощью контролируемых методов классификации:

- растительный покров тип 1: глобальная схема классификации растительности IGBP;
- растительный покров тип 2: Университет штата Мэриленд (UMD) схема;
- растительный покров тип 3: MODIS-производная LAI/fPAR схема;
- растительный покров тип 4: Чистая первичная продукция (NPP);
- растительный покров тип 5: Растения по функциональному типу (PFT).

В таблице 1 приводится состав одного пакета данных, а в таблице 2 приводится классификация классов, содержащихся в пакете MODIS.

Таблица 1 – V051 MODIS Land Cover Type HDF, слои пакета данных

| Набор данных | Единицы | Тип данных | Предел значений | Допустимый диапазон |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|-----------------|---------------------|
| Land Cover Type 1 (IGBP)* | Class # | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 2 (UMD)* | Class # | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 3 (LAI/fPAR)* | Class # | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 4 (NPP/BGC)* | Class # | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 5 (PFT)** | Class # | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 1 Assessment | % Integer | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 2 Assessment | Not populated | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 3 Assessment | Not populated | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 4 Assessment | Not populated | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 5 Assessment | Not populated | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover QC | Concatenated Flags | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 1 Secondary | Class # | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Type 1 Secondary % | Not populated | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Property 1 | Not populated | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Property 2 | Not populated | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |
| Land Cover Property 3 | Not populated | 8-битный беззнаковый | 255 | 0 – 254 |

Таблица 2 – Растительный покров, описание, типы

| Класс | IGBP (Тип 1) | UMD (тип 2) | LAI/fPAR (Тип 3) | NPP (тип 4) | PFT (Тип 5) |
|-------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 | Вода | Вода | Вода | Вода | Вода |
| 1 | Вечнозеленые хвойные леса | Вечнозеленые хвойные леса | Травы / Зерновые культуры | Вечнозеленые хвойные растения | Вечнозеленые хвойные деревья |
| 2 | Вечнозелёные широколиственные леса | Вечнозелёные широколиственные леса | Кусты | Вечнозелёные широколиственные растения | Вечнозеленые широколиственные деревья |
| 3 | Лиственные хвойные леса | Лиственные хвойные леса | Широколиственных культуры | Лиственные хвойные растения | Лиственные хвойные деревья |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----|--|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 4 | Лиственные широколиственных леса | Лиственные широколиственных леса | Саванна | Лиственные Широколиственные растения | Лиственные широколиственные деревья |
| 5 | Смешанный лес | Смешанный лес | Вечнозеленые широколиственные леса | Однолетние широколиственные растения | Кустарник |
| 6 | Сомкнутые кустарники | Сомкнутые кустарники | Лиственные широколиственные леса | Однолетняя трава | Трава |
| 7 | Разряженные кустарники | Разряженные кустарники | Вечнозеленые хвойные леса | Пустые земли | Зерновые культуры |
| 8 | Древесные саванны | Древесные саванны | Лиственные хвойные леса | Населенные пункты | Широколиственных культуры |
| 9 | Саванны | Саванны | Без растительные земли | | Городские и застроенные территории |
| 10 | Пастбища | Пастбища | Населенные пункты | | Снег и лед |
| 11 | Постоянные водно-болотные угодья | | | | Бесплодная или редкой растительностью |
| 12 | Пахотные земли | Пахотные земли | | | Бесклассовая |
| 13 | Городские и застроенные | Городские и застроенные | | | Предельное значение |
| 14 | Пахотные / Естественная растительность мозаика | | | | |
| 15 | Снег и лед | | | | |
| 16 | Бесплодная или редкой растительностью | Бесплодная или редкой растительностью | | | |
| 254 | Другие типы поверхности | Другие типы поверхности | Другие типы поверхности | Другие типы поверхности | |
| 255 | Предельное значение | Предельное значение | Предельное значение | Предельное значение | |

В данной работе используется первая классификация данных Международной геосферно-биосферной программы (IGBP).

3 Построение бассейнов и определение характеристик рельефа в них

Для определения бассейна реки использовался алгоритм, представленный ниже (рисунок 1).

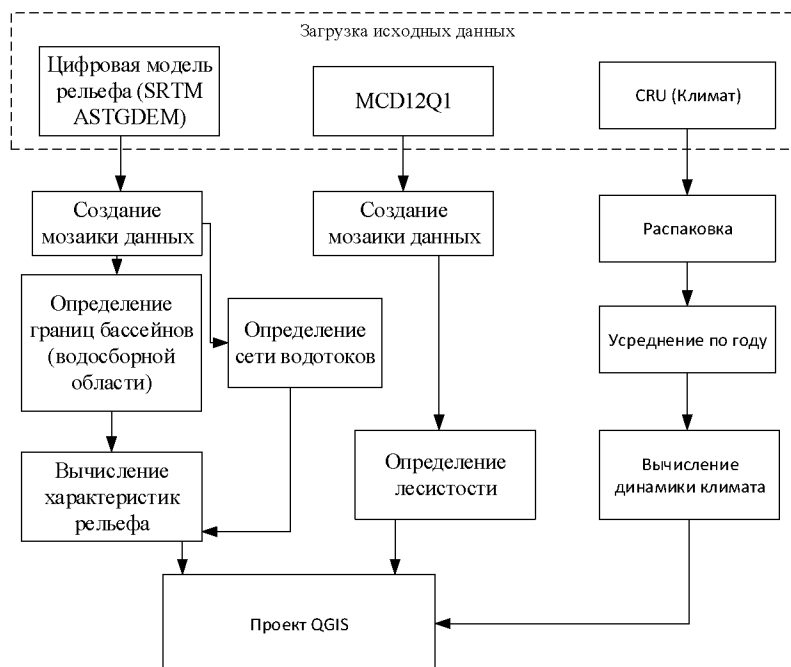


Рисунок 1 – Схема работы

Для определения бассейна реки используется инструмент ArcToolbox «Водосборная область», данный инструмент принято было решение выбрать, ввиду того, что инструмент «Бассейн» определяет бассейн для каждого малейшего водотока, а не для все водосборной области необходимой реки.

3.1 Определение бассейна реки с использованием средств ArcGIS Spatial Analyst

Ниже представлена схема определения бассейна реки, все операции выполняются последовательно (рисунок 2).

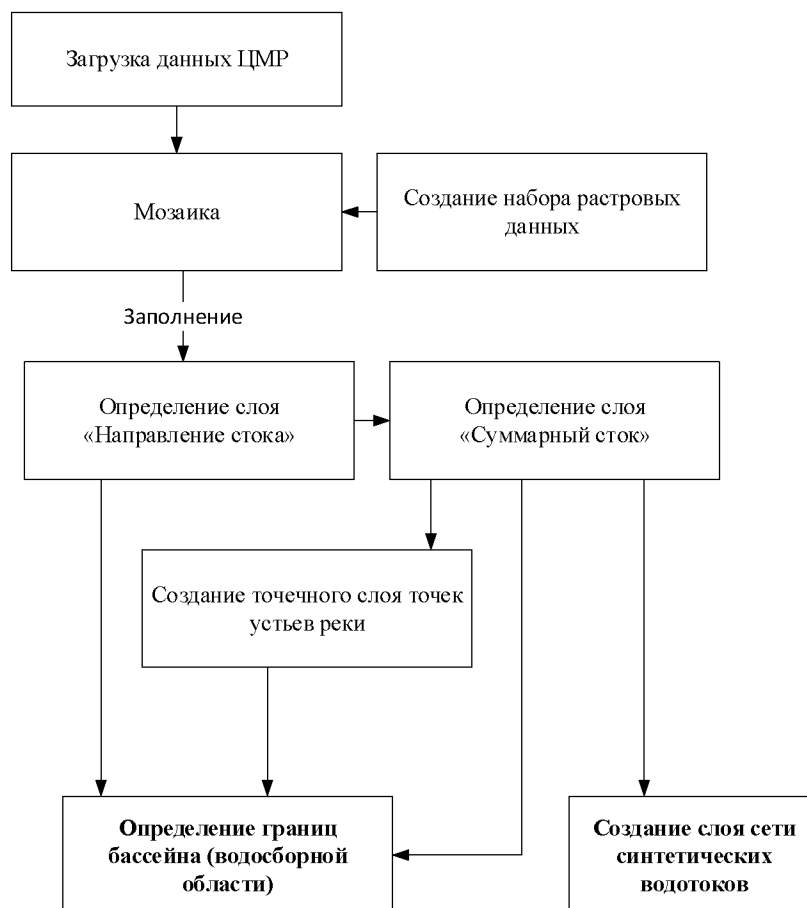


Рисунок 2 – Определение бассейна реки и сети водотоков

Для определения положения реки использовались векторный слой рек и растровый слой цифровой модели рельефа (ЦМР) для лучшей ориентации.

Для автоматизированного построения бассейна реки в ArcGIS существует инструмент построения водосборной области. Операция выполняется за несколько шагов:

- использовать операцию «Заполнение», что заполняет локальные понижения в растре поверхности для удаления небольших ошибок и неточностей, присущих данным;
- применить инструмент «Направление стока», выполняется автоматически, используя слой «Заполнение»;

- использовать инструмент «Суммарный сток», исходными данными является слой «Направление стока», для наиболее точной постановки указателя на устье реки, в противном случае получим ошибочный бассейн;

- создать shape-слой с точками устьев, что будет являться указателем устья реки: «контекстное меню рабочей папки»/ «Новый»/ «Shape-файл», где во всплывающем окне выбрать точечный слой. В режиме редактирования ставим точки в устье реки (в месте, где река впадает в другую). Для более точного определения русла реки используется ранее созданный слой «Суммарный сток»;

- после необходимой подготовки использовать инструмент «Водосборная область», где после обработки получаем растровый слой бассейна реки;

- сконвертировать растровый слой в векторный, для чего использовать инструмент ArcToolbox «Конвертация» / «Из растра» / «Растр в полигоны» и добавить в рабочую коллекцию.

Одним из ключей получения гидрологических характеристик поверхности является возможность определить направление потока из каждой ячейки растра. Это делается с помощью инструмента Направление стока (Flow Direction).

Этот инструмент берёт поверхность в качестве входных данных и выдаёт растр, показывающий направление стока каждой ячейки. Если выбрана опция Выходной растр падения, создаётся выходной растр, показывающий отношение максимального изменения по высоте из каждой ячейки вдоль направления стока к расстоянию между центрами ячеек, выраженное в процентах. Если выбрана опция Поток крайних ячеек направлен наружу, сток из всех ячеек на краю растра поверхности будет осуществляться "наружу", за края растра.

Есть 8 корректных выходных направлений относительно 8 смежных ячеек, в которые может перейти поток. Этот подход обычно называется моделью восьминаправленного стока (D8), он следует принципам подхода в Jenson and Domingue (1988).

Направление стока определяется направлением наиболее крутого спуска, или максимального падения, из каждой ячейки. Оно вычисляется следующим образом:

$$\text{maximum_drop} = \text{change_in_z-value} / \text{distance} * 100$$

Расстояние вычисляется между центрами ячеек. Следовательно, если размер ячейки принять за единицу, расстояние между двумя ортогональными ячейками будет равно 1, а расстояние между диагональными ячейками - 1,414 (квадратный корень из 2). Если максимальное снижение высоты до ближайших ячеек одинаково в нескольких направлениях, область соседства расширяется до тех пор, пока не будет найден самый крутой спуск.

Если найдено направление самого крутого склона, выходной ячейке присваивается значение, соответствующее этому направлению.

Если все соседние ячейки выше, чем обрабатываемая ячейка, такая ячейка будет рассматриваться как ошибка в данных; она должна быть заполнена до минимального значения высоты соседних ячеек. Сток будет осуществляться в эту ячейку. Однако в том случае, если локальное понижение размером в одну ячейку расположено на физическом краю раstra, или в ее окрестностях есть хотя бы одна ячейка со значением NoData (нет данных), заполнения не происходит из-за недостаточной информации по соседним ячейкам. Чтобы ячейка могла рассматриваться как истинное локальное понижение размером в одну ячейку, нужно иметь информацию по всем соседним ячейкам.

Если сток из двух ячеек осуществляется друг в друга, они являются локальными понижениями с неопределенным направлением стока. Такой метод определения направления стока по цифровой модели рельефа рассмотрен в книге Дженсона и Доминика (Jenson and Domingue, 1988).

Ячейки, которые являются локальными понижениями, определяются с помощью инструмента Локальное понижение (Sink). Чтобы получить точное

представление направления потока по поверхности, нужно заполнить локальные понижения до использования растра направления стока.

Инструмент Суммарный сток (Flow Accumulation) вычисляет суммарный сток как общий вес ячеек, сток из которых попадает в каждую из ячеек выходного растра, находящуюся ниже по склону. Если растр весов не задан, каждой ячейке присваивается вес 1, а значениями ячеек выходного растра будет количество ячеек, сток из которых направлен в данную ячейку.

Ячейки с высоким суммарным стоком - это участки концентрированного стока; они могут быть использованы для определения русел водотоков. Это описано в разделе Определение сетей водотоков. Ячейки с суммарным стоком, равным нулю, - это локальные топографические пики; они могут быть использованы для выделения хребтов или линий водораздела [7]. На рисунке 3 представлено расположение бассейнов.

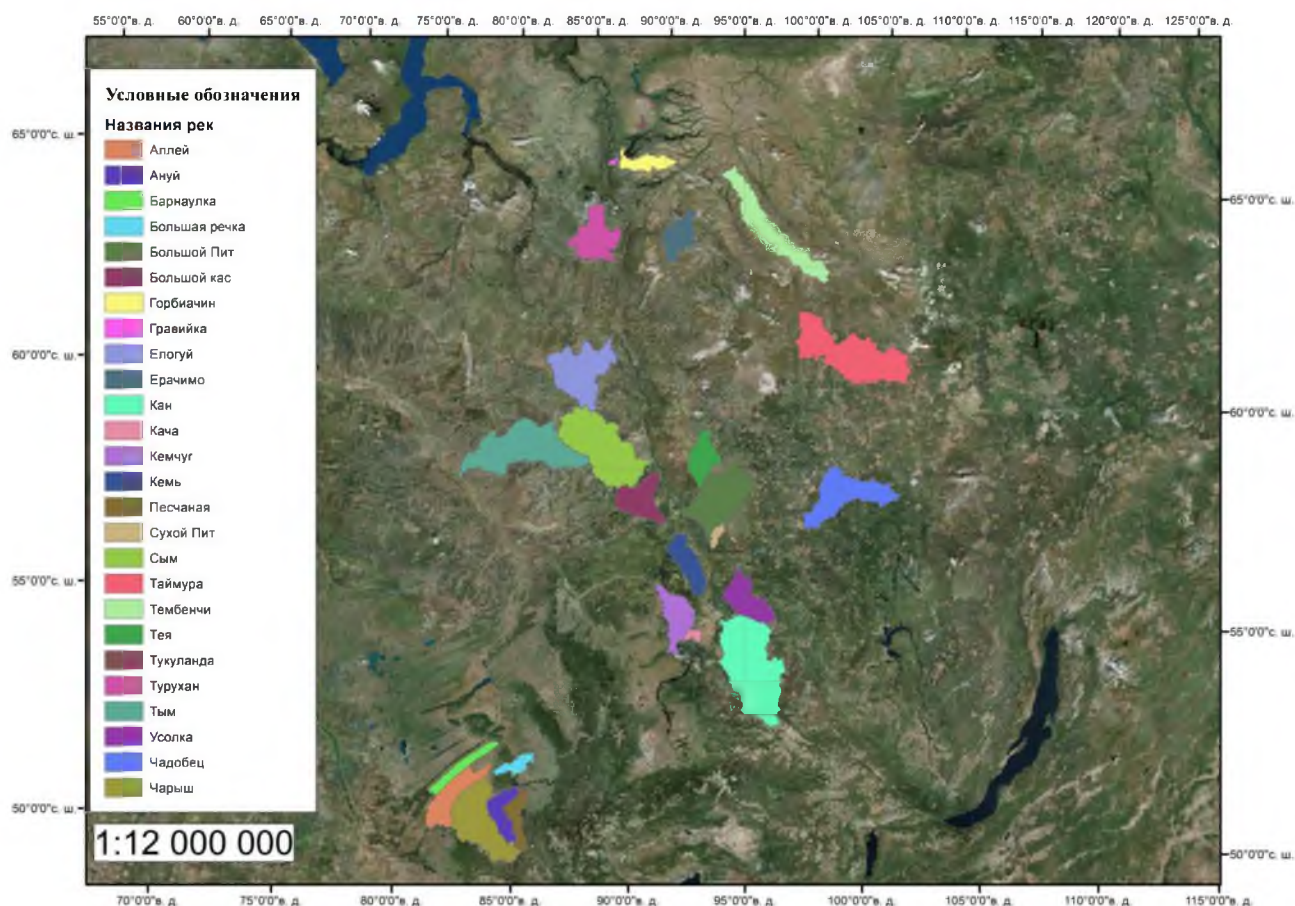


Рисунок 3 – Расположение бассейнов

3.2 Постройка первичных притоков реки

Входные данные: растры, используемые для выделения бассейна, полигон бассейна реки.

Для начала необходимо вырезать растр по маске бассейна: ArcToolbox => Инструменты Spatial Analyst => Извлечение => Извлечь по маске.

- исходный растр
- маска (Полигон бассейна)
- путь и имя выходного растра

В результате получается растр бассейна.

Использовать инструмент ArcToolbox => Инструменты Spatial Analyst => Гидрология => Направление стока;

Использовать инструмент ArcToolbox => Инструменты Spatial Analyst => Гидрология => Суммарный сток;

Использовать инструмент ArcToolbox => Инструменты Spatial Analyst => Условия => Установить ноль. Входными данными является суммарный сток, в котором необходимо идентифицировать значение рек, после чего ввести условие в инструмент «Value <X», где X есть идентифицированное значение, значение «ложь», для данного инструмента выбрать «1»;

В результате растровый слой сети водотоков, который конвертируется в векторный с объектами полилиний. Результат представлен на рисунке 4.

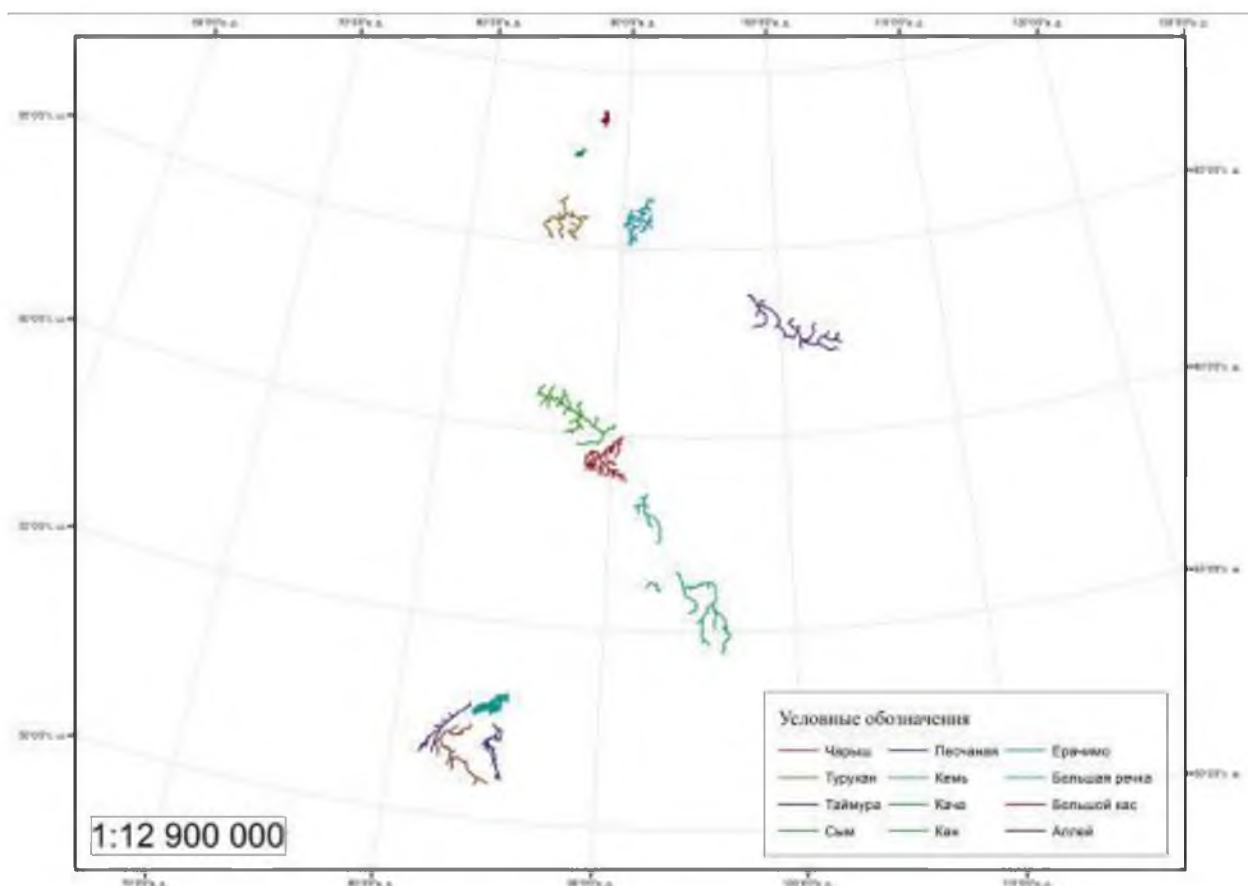


Рисунок 4 – Сеть водотоков

На рисунке 4 показаны разными цветами сети рек внутри каждого бассейна. В последующем по этим данным будут вычисляться характеристики, такие как количество первичных водотоков, длина рек.

3.3 Вычисление характеристик рельефа бассейнов

Для вычисления уклона местности необходимо использовать систему координат картографической проекции. Проекция выбрана равноплощадная коническая Альберса.

Для построения уклона поверхности необходимо использовать инструмент «ArcToolbox»/ «3D Analyst»/ «Растровая модель поверхности» / «Уклон»

Уклон определяет степень изменения поверхности в горизонтальном (dz/dx) и вертикальном (dz/dy) направлениях из центральной ячейки. Основной алгоритм для вычисления уклона:

$$slope_degrees = ATAN(\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2}) * 57.29578$$

Входными данными для данного инструмента является ЦМР, обрезанный по маске бассейна реки, созданной ранее. Результатом процедуры является растровый слой, где значение пикселя есть угол уклона местности в данной точке (рисунок 5).

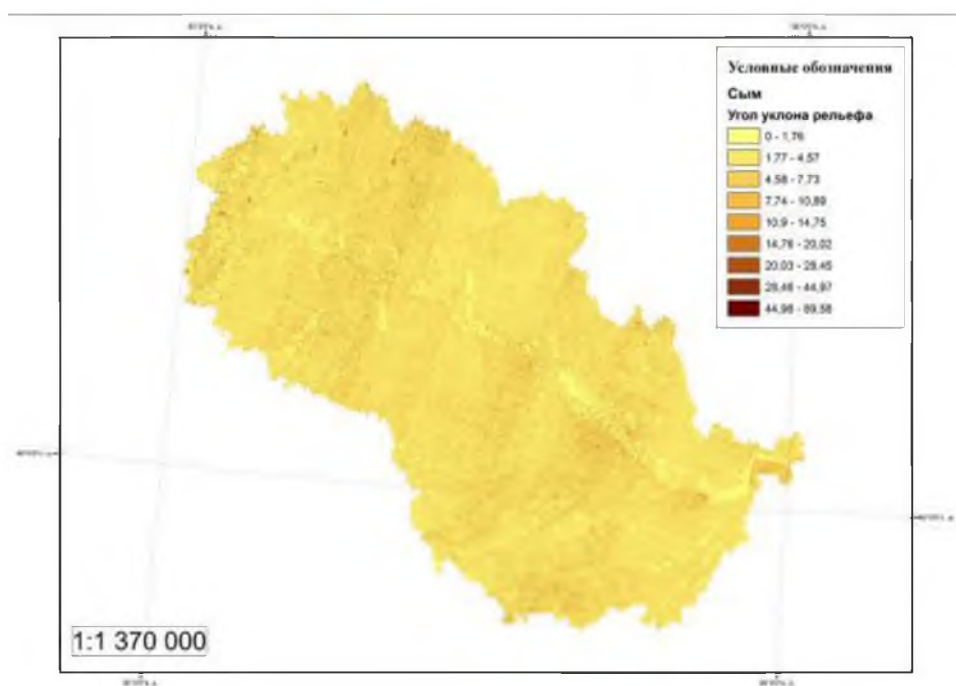


Рисунок 5 – Крутизна склонов

Для вычисления экспозиции местности необходимо использовать спроецированную систему координат. Проекция выбрана равноплощадная коническая Альберса.

Для построения экспозиции поверхности необходимо использовать инструмент «ArcToolbox»/ «3D Analyst»/ «Растровая модель поверхности» / «Экспозиция»

Алгоритм инструмента Экспозиция

Скользящее окно размером 3 x 3 ячейки проходит через каждую ячейку на входном растре, и для каждой ячейки, расположенной в центре окна, с применением алгоритма, учитывающего значения восьми соседних ячеек, вычисляется значение экспозиции. Ячейки обозначаются буквами от *a* до *i*, при этом буквой *e* обозначена ячейка, для которой вычисляется экспозиция.

Степень изменения по направлению *x* для ячейки *e* вычисляется с помощью следующего алгоритма:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8$$

Степень изменения по направлению *y* для ячейки *e* вычисляется с помощью следующего алгоритма:

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8$$

С учетом степени изменений по обоим направлениям, *x* и *y*, для ячейки *e*, экспозиция вычисляется с использованием следующего уравнения:

$$aspect = 57.29578 * atan2 ([dz/dy], -[dz/dx])$$

Входными данными для данного инструмента является ЦМР, обрезанный по маске бассейна реки, созданной ранее. Результатом процедуры является растровый слой, где значение пикселя есть градус направления склона на сторону света (север, юг и т.д.) в данной точке (рисунок 6).

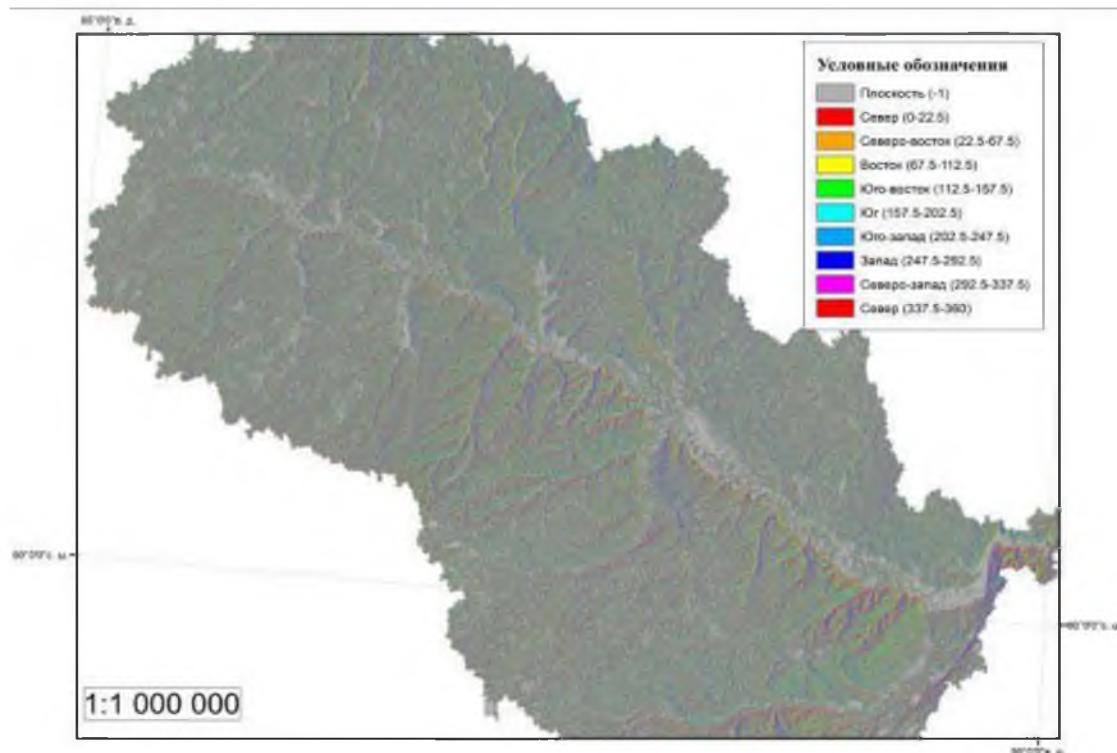


Рисунок 6 – Экспозиция склонов

После чего выполнить инструмент «Зональная статистика» для уклона и для экспозиции, в результате чего имеется таблица со значениями уклона и экспозиции, которую в последствии обработать, как электронную таблицу, добавить идентификатор.

Добавить данные в общую таблицу по характеристикам рельефа.

4 Определение характеристики рельефа и лесистости бассейнов рек

4.1 Определение характеристики рельефа бассейнов

Для вычисления статистических данных рельефа используются инструменты «Зональная статистика» и «Зональная гистограмма»

Зональная гистограмма создаёт таблицу и график гистограммы, показывающие плотность распределения значений ячеек на входных данных. Значение для каждой уникальной Зоны.

Зональная гистограмма позволяет исследовать распределение частоты значений в одном наборе данных в классы другого набора данных.

Зона определяется как все области входных данных, имеющие одно значение. Области не обязательно должны быть непрерывными. Наборы растровых данных и наборы классов объектов могут использоваться для входных данных зоны.

Поле зоны должно быть целочисленного или строкового типа.

Зональная статистика суммирует значения раstra в пределах зон другого набора данных и записывает результаты в таблицу.

Зона определяется как все области входных данных, имеющие одинаковые значение. Области не обязательно должны быть непрерывными. В качестве входных данных зоны могут использоваться наборы растровых данных и наборы классов объектов.

Когда входные данные зон и входные данные значений представлены растрами с одинаковым разрешением, они будут использоваться напрямую.

Если разрешения растров отличаются, до выполнения зональной операции применяется внутренняя передискретизация для приведения растров в соответствие друг другу.

Если во входных данных есть ячейки с значением NoData, передискретизация может привести к тому, что в выходных данных участки с значением NoData могут оказаться больше, чем вы ожидаете. Чтобы избежать этого, либо выполните для растра с более низким разрешением операцию «Изменить разрешение» (Resample), чтобы увеличить его до более высокого разрешения другого входного растра, либо установите Размер ячейки (Cell size) на Минимальный из всех входных (Minimum Of Inputs) в параметрах среды.

Если входные данные зон представлены набором растровых данных, он должен иметь таблицу атрибутов. Таблица атрибутов обычно создается для целочисленных растров автоматически, но при определенных обстоятельствах этого может не произойти. Вы можете использовать инструмент «Построить таблицу атрибутов растра» для создания этой таблицы.

Если входные данные зон представлены набором векторных данных, к нему будет применено преобразование «вектор в растр». Чтобы убедиться, что результаты преобразования будут верно совмещены с входными растровыми данными классов, рекомендуется проверить, заданы ли в параметрах среды и в параметрах анализа растров корректные параметры экстенда и привязки растра.

Внутренний растр должен иметь таблицу атрибутов. Если в процессе преобразования она не создана, будет выдано сообщение об ошибке. Если это происходит, конвертируйте набор классов объектов напрямую с помощью «Объекты в растр», «Полигон в растр», «Точка в растр» или «Полилиния» в растр. Создайте таблицу атрибутов для растра, как описано в предыдущей подсказке, и используйте полученный растр как входные данные Зоны (Zone).

Если входные данные зоны являются набором классов объектов с небольшими пространственными объектами, помните, что разрешение информации, необходимой для соответствия, сходно с разрешением растра значения. Если площади автономных пространственных объектов такие же или меньше, чем площадь автономных ячеек в растре значения, при преобразовании пространственного объекта в растр некоторые из этих зон могут быть не представлены.

Если входные векторные данные зон имеют перекрывающиеся полигоны, то для каждого отдельного полигона зональный анализ выполняться не будет. Поскольку векторные входные данные конвертируются в растр, каждое местоположение может иметь только одно значение.

Альтернативный метод заключается в обработке зональной статистики итеративно для каждой из полигональных зон с последующим сопоставлением результатов.

В качестве входных данных зон рекомендуется использовать только растры, поскольку это обеспечивает больший контроль за выполнением преобразований «вектор в растр». Это позволит вам получить ожидаемые результаты.

Входной растр значений может быть либо целочисленным, либо значениями с плавающей точкой. Однако, если тип данных - числа с плавающей точкой, не будут вычислены такие зональные характеристики, как большинство, медиана, меньшинство и разнообразие.

Для вычислений большинства и меньшинства, если есть привязка, выходные данные для зоны основаны на наименьшем из значений привязки.

В выходной таблице будет создано поле или ряд полей, в зависимости от параметра Тип статистики. Если входное Значение (Value) - целое число, для вычисления доступны все типы статистики (Площадь (Area), «Минимум» (Min), Максимум (Max), Диапазон (Range), Среднее (Mean), Стандартное отклонение (STD), Сумма (Sum), Разнообразие (Variety), Большинство (Majority), Меньшинство (Minority) и Медиана (Median)). Если входное Значение (Value) - с плавающей точкой, типы статистики Большинство (Majority), Меньшинство (Minority), Медиана (Median) и Разнообразие (Variety) не будут вычисляться.

Число строк в выходной таблице равно числу зон [1]. В результате имеется таблица с набором данных по каждому бассейну.

4.2 Характеристики растительного покрова

Оценка лесистого покрова оценивается по данным MODIS MCD12Q1, «Карте лесов СССР» 1990 года, а также карте растительного покрова России TerraNorte 2010 года [13], основанной также на данных MODIS. Используется инструмент «Зональная гистограмма» из набора Spatial Analyst. На выходе данного инструмента имеется таблица где показано количество пикселей, соответствующие определенному классу. Эти данные сопоставляются либо с атрибутивной таблицей, либо с документацией к каждой классификации, затем производится подсчет процентного соотношения леса, то есть в каждой классификации суммируются поля, относящиеся к лесу, после чего относится к общему количеству пикселей в данном бассейне (рисунок 7).

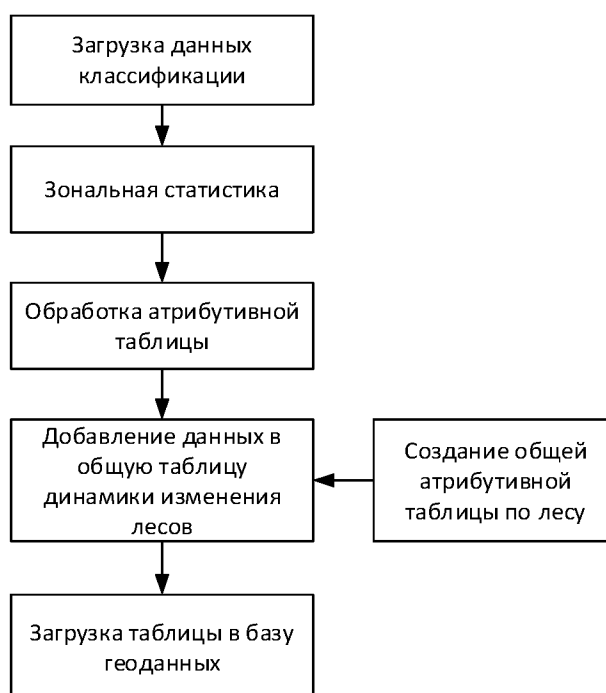


Рисунок 7 – Схема вычисления характеристик лесного покрова

На территориях бассейнов появляется возможность оценить динамику изменения площади лесов, что может влиять на изменение стока реки (рисунок 8).

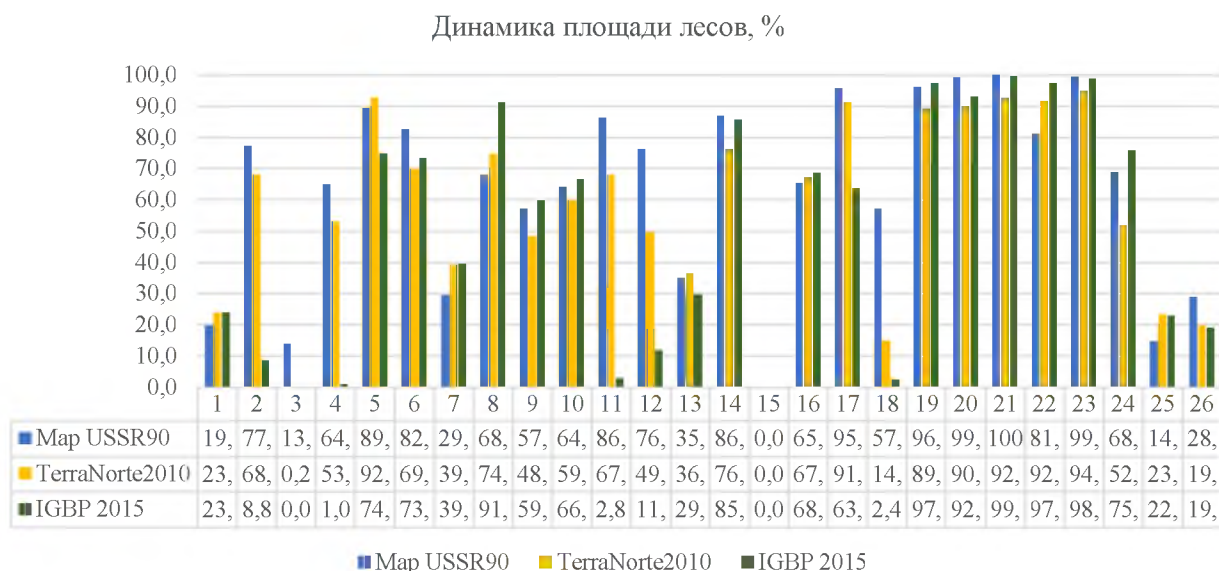


Рисунок 8 – Диаграмма динамики площади леса, проценты

Таблица 3 – Динамика изменения площади лесного покрова, проценты от площади бассейна

| Название | ID | IGBP 2015 года | TerraNorte 2010 года | Карта лесов СССР 1990 года |
|---------------|----|----------------|----------------------|----------------------------|
| Чарыш | 1 | 24% | 24% | 20% |
| Турухан | 2 | 09% | 68% | 77% |
| Тукуланда | 3 | 00% | 00% | 14% |
| Тембенчи | 4 | 01% | 53% | 65% |
| Таймура | 5 | 75% | 93% | 89% |
| Сым | 6 | 73% | 70% | 83% |
| Песчаная | 7 | 40% | 39% | 30% |
| Кемь | 8 | 91% | 75% | 68% |
| Кача | 9 | 60% | 48% | 57% |
| Кан | 10 | 67% | 60% | 64% |
| Ерачимо | 11 | 03% | 68% | 86% |
| Гравийка | 12 | 12% | 49% | 76% |
| Большая речка | 13 | 30% | 36% | 35% |
| Большой Кас | 14 | 86% | 76% | 87% |
| Аллей | 15 | 00% | 00% | 00% |
| Тым | 16 | 69% | 67% | 65% |

| Название | ID | IGBP 2015 года | TerraNorte 2010 года | Карта лесов СССР 1990 года |
|-------------|----|----------------|----------------------|----------------------------|
| Елогуй | 17 | 64% | 91% | 96% |
| Горбиачин | 18 | 02% | 15% | 57% |
| Большой Пит | 19 | 97% | 89% | 96% |
| Тея | 20 | 93% | 90% | 99% |
| Сухой Пит | 21 | 100% | 93% | 100% |
| Кемчуг | 22 | 97% | 92% | 81% |
| Чадобец | 23 | 99% | 95% | 99% |
| Усолка | 24 | 76% | 52% | 69% |
| Ануй | 25 | 23% | 23% | 15% |
| Барнаулка | 26 | 19% | 20% | 29% |

Данные в таблице представлены как процентное соотношение леса к общей площади для трех различных классификаций (таблица 3).

5 Проект QGIS

5.1 Создание проекта

Изначально планировалось создать пространственную базу геоданных, но ввиду трудностей реализации и сложность использования, решено выполнить работу на базе проекта QGIS.

Создание проекта QGIS начинается с запуска программы, после чего добавить в таблицу содержания shape-файл водосборных бассейнов.

Добавить растры ЦМР, экспозиции, уклона рельефа.

Добавить атрибутивные таблицы по лесистости, ландшафтным характеристикам, а также по климату.

Структура проекта представлена графически (рисунок 9).

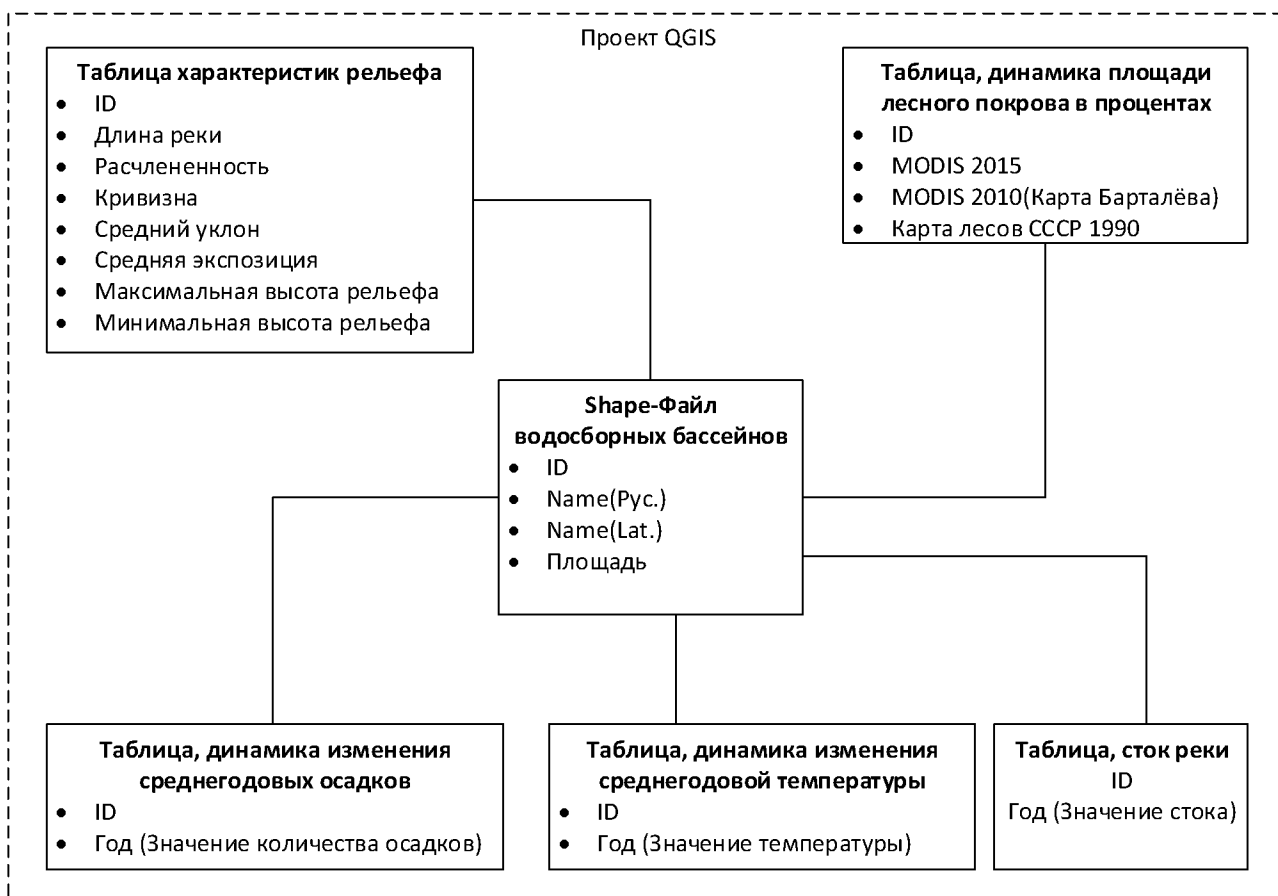


Рисунок 9 – Структура проекта

Ниже приведен список всех слоев и таблиц, представленных в проекте:

- Слой-маска границ водосборных бассейнов, shape-файл, содержит названия реки бассейна, площадь, а также идентификатор (ID);
- Вырезанные по маске файлы ЦМР
- Растровые слои уклона и экспозиции
- Атрибутивные таблицы:
 - Таблица, содержащая характеристики рельефа;
 - Зональная гистограмма уклона и экспозиции;
 - Зональная гистограмма лесного покрова, для трёх временных участков;

5.2 Руководство по использованию проекта

Областью применения данного проекта ГИС является гидрология. Данный проект позволяет, для выделенных бассейнов рек, узнать статистические характеристики по рельефу, а также производить статистический анализ, давать оценку влияния климата, а также лесного покрова на водный сток реки.

Пользователь должен иметь уровень подготовки, не ниже специалиста в области геоинформационных технологий.

- знать соответствующую предметную область;
- уметь работать с ПО Quantum GIS.

Проект содержит в себе файл проекта, а также share-файл водосборных бассейнов, слои ЦМР, таблицы с данными по рельефу, лесистости и климату, связанных с share-файлом. Проект представлен на рисунке 10.

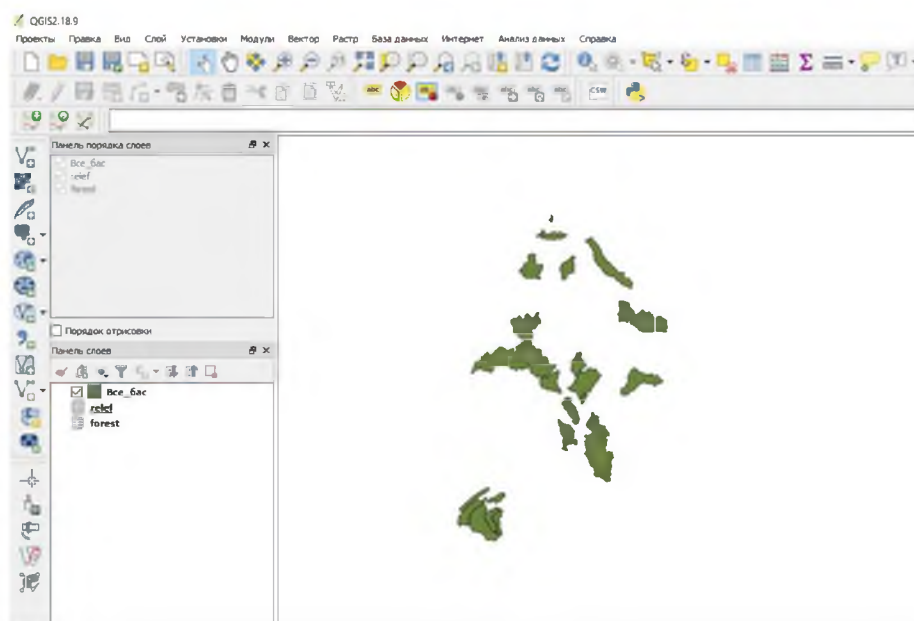


Рисунок 10 – Окно проекта

Для добавления новых данных необходимо:

- обработанную таблицу XLSX с идентификаторами, сохранить в формате CSV;
- нажать на кнопку в QGIS «Добавить слой CSV»;
- задать необходимые параметры добавления нового слоя;

– открыть свойства share-файла с водосборными бассейнами, в разделе связи добавить связь с новыми данными.

Работоспособность проверяется открытием атрибутивной таблице share-файла (рисунок 11).

| | Id | Name | Площадь | Name_Lat |
|----|----|-----------|---------|------------|
| 1 | 2 | Турухан | 1339478 | Turuhan |
| 2 | 3 | Түкүланда | 56192 | Tukulanda |
| 3 | 4 | Тембенчи | 2168012 | Tembenchi |
| 4 | 5 | Таймура | 3251602 | Taimura |
| 5 | 6 | Сым | 3087865 | Sym |
| 6 | 7 | Песчаная | 565907 | Peschanaya |
| 7 | 8 | Кемь | 900753 | Kem |
| 8 | 9 | Кача | 127249 | Kacha |
| 9 | 10 | Кан | 3699111 | Kan |
| 10 | 11 | Ерачимо | 806125 | Erachimo |
| 11 | 12 | Гравийка | 36388 | Graviyka |

Рисунок 11 – Атрибутивная таблица share-файла водосборных бассейнов рек

Атрибутивная таблица при добавлении новыми данными будет меняться, то есть будут добавляться новые поля, с новыми данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате бакалаврской работы достигнута цель: создание проекта QGIS для гидрологического моделирования и анализа зависимостей величины поверхностного стока рек от:

- антропогенных факторов (изменение лесистости из-за вырубок, пожаров и других причин);
- климатических факторов (среднемесячные температуры и количество осадков; среднегодовые температуры и сумма осадков);
- ландшафтных особенностей бассейна (высота над у.м., крутизна склонов, экспозиция склонов, кривизна склонов (отн. ед.), расчлененность рельефа горизонтальная и вертикальная).

По цифровой модели рельефа определены границы бассейна для каждой реки; определены параметры рельефа с использованием пространственного анализа, такие как кривизна рельефа, экспозиция рельефа, уклон рельефа, расчлененность, крутизна рельефа.

Построены синтетические сети водотоков в пределах бассейнов;

Определены характеристики лесного покрова для трёх различных карт, разных лет, таких карт как классификация IGBP 2015 года, карта Барталёва MODIS 2010 года, карта лесов СССР 1990 года. При вычислении характеристик, обнаружена динамика изменения площади лесного покрова. Большая разница видна на территории водосборных бассейнов рек: Турухан, площадь лесов изменилась с 77% до 9 %; Тембенчи, площадь лесов изменилась с 65% до 0%; Ерачимо, площадь лесов изменилась с 86% до 3%; Гравийка, площадь лесов изменилась с 76% до 12%; Елогуй, площадь лесов изменилась с 96% до 64%; Кемь, площадь лесов изменилась с 68% до 91%. В результатах возможны ошибки, так как для разных годов и карт были применены различные подходы к вычислению площади лесов.

Создан проект QGIS, включающий в себя слой бассейнов, цифровую модель рельефа в пределах бассейнов, а также все вычисленные параметры,

такие как кривизна рельефа, экспозиция рельефа, уклон рельефа, расчлененность, крутизна рельефа, лесистость, среднегодовая влажность, среднегодовая температура, а также сток реки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Abbaspour K. C., Rouholahnejad E., Vaghefi S. Et al. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model/Journal of hydrology, Vol. 524, P. 733-752
2. Добровольский, А.Д. Гидрология: учебник для вузов / А. Д. Добровольский, С.А. Добролюбов, В.Н. Михайлов. – Москва : Гидрогеология, 2007. – 69 с.
3. Орлова Е.В. Определение географических и гидрологических характеристик бассейна Печоры с использованием ГИС-технологий / Орлова Е.В. // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 34. – С. 81–88.
4. Базы данных [Электронный ресурс]: учебно-практическое пособие [электронный курс] / Международный консорциум "Электронный университет", Моск. гос. ун-т экономики, статистики и информатики, Евразийский открытый институт (ЕАОИ); сост. С. М. Диго. – 2015
5. SpatiaLite [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.gaia-gis.it/gaia-sins/>
6. Earthexplorer [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://earthexplorer.usgs.gov>
7. ArcGIS Desktop [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://desktop.arcgis.com/ru/>
8. Quantum GIS [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.qgis.org/ru/>
9. The CGIAR Consortium for Spatial Information [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://srtm.csi.cgiar.org>
10. U.S. Geological Survey [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <https://www.usgs.gov>
11. Документация цифровой модели рельефа ASTER Global Digital Elevation Model. ASTGTM 2015 [Электронный ресурс] : – Режим доступа: https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/aster/aster_products_table/astgtm

12. Документация продукта MODIS. NASA LP DAAC MODIS 2014 [Электронный ресурс] : – Режим доступа: https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/mcd12q1
13. Барталёв С.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS / С. А. Барталев, В. А. Егоров, Д. В. Ершов, А. С. Исаев, Е. А. Лупян, Д. Е. Плотников, И. А. Уваров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8. – № 4. – С. 285-302